

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-274095

(43)Date of publication of application : 08.10.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/268

H01L 21/20

(21)Application number : 10-072338

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 20.03.1998

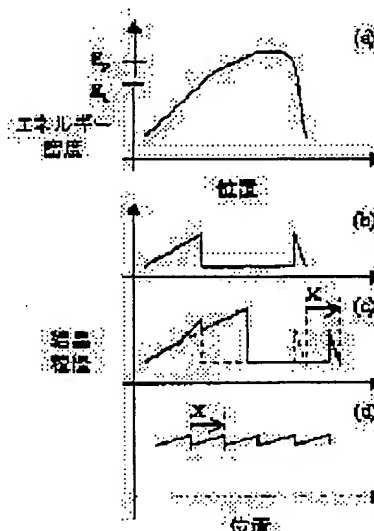
(72)Inventor : OKUMURA NOBU
TANABE HIROSHI

(54) METHOD AND EQUIPMENT FOR IRRADIATION OF LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To eliminate the effects of the end of beam of pulse laser light cast before and uniform the crystal grain diameter of a polycrystalline semiconductor thin film, by locating the center of a microcrystallized region having an energy density higher than that of a microcrystalline threshold of polycrystal or above ahead in the scanning direction of the center of the region cast with the pulse laser light.

SOLUTION: In an energy density profile in the width wise direction of linear pulse laser light, the maximum energy density exceeds a microcrystalline threshold E_p of a polycrystalline silicon thin film. E_a is a microcrystalline threshold of an amorphous silicon thin film. A pulse laser light-irradiating region has a second microcrystalline region having the energy density of E_a or above at its center and first microcrystallization regions having the energy density of at least E_a and less than E_p which are adjacent on the right and the left side of the second microcrystalline region. The point of the maximum energy density is located on the right of the center of beam and the center of the second microcrystalline region having the energy density of E_p or above is located ahead in the scanning direction with respect to the center where laser light is irradiated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.03.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3204307

[Date of registration] 29.06.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-274095

(43) 公開日 平成11年(1999)10月8日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 21/268

識別記号

21/20

F I

H 0 1 L 21/268

21/20

F

J

審査請求 有 請求項の数22 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-72338

(22) 出願日 平成10年(1998)3月20日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 奥村 展

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 田邊 浩

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

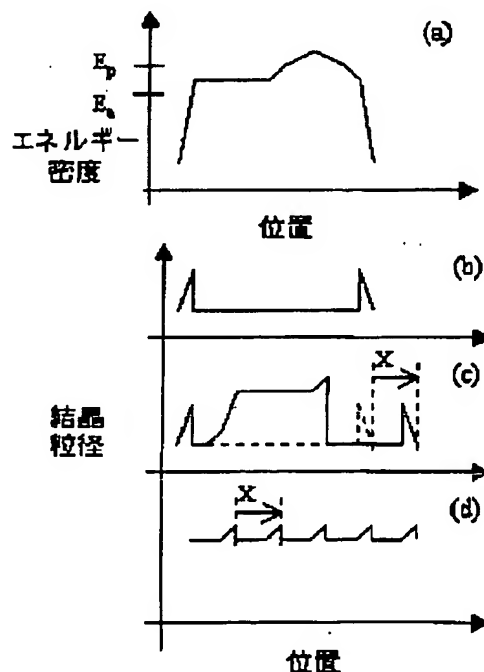
(74) 代理人 弁理士 若林 忠 (外4名)

(54) 【発明の名称】 レーザ照射方法およびレーザ照射装置

(57) 【要約】

【課題】 非単結晶半導体薄膜に線状パルスレーザ光をスキャン照射して多結晶半導体薄膜を形成する際に、結晶組織に不均質性を生むビーム端の影響を除去し、均質な薄膜を得る。

【解決手段】 レーザ光の幅方向のビームプロファイルが、走査方向に沿って順に、多結晶半導体薄膜の微結晶化しきい値 E_p 以上の領域と、多結晶薄膜の微結晶化しきい値 E_p 未満の定エネルギー密度領域とを有するパルスレーザ光を、該定エネルギー密度領域の幅以下のピッチ X で、スキャン照射する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 線状または矩形状の照射領域を有するパルスレーザ光を、幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行うレーザ照射方法であって、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域と、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域とを含み、該第二微結晶化領域の中心位置が照射領域中心位置に対し走査方向前方側にあることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 2】 前記照射領域は、第二微結晶化領域に隣接して走査方向前方および後方に第一微結晶化領域を有し、さらにこれらの走査方向前方および後方に、該第一微結晶化領域に隣接して多結晶化領域を有することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ照射方法。

【請求項 3】 前記第二微結晶化領域と前記第一微結晶化領域との境界のうち、走査方向前方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値が、走査方向後方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値よりも大きいことを特徴とする請求項 2 に記載のレーザ照射方法。

【請求項 4】 前記第二微結晶化領域の幅以下のピッチでパルスレーザ光を走査することを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに記載のレーザ照射方法。

【請求項 5】 前記第二微結晶化領域に対して走査方向後方に位置する前記第一微結晶化領域または前記多結晶化領域が、定エネルギー部を含む形状のエネルギー密度プロファイルを有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ照射方法。

【請求項 6】 前記定エネルギー部の幅以下のピッチでパルスレーザ光を走査することを特徴とする請求項 5 に記載のレーザ照射方法。

【請求項 7】 異なる光源から発振された線状または矩形状の照射領域を有する第一パルスレーザ光および第二パルスレーザ光を用い、これらをこの順で同一地点に照射するダブルパルス法により、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光を幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行うレーザ照射方法であって、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該第一パルスレーザ光の照射領域は、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域を少なくとも含み、該第二パルスレーザ光の照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域とからなることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 8】 前記第二パルスレーザ光の照射領域は、前記幅方向に沿って、トップフラット部を含む形状のエ

ネルギー密度プロファイルを有することを特徴とする請求項 7 に記載のレーザ照射方法。

【請求項 9】 前記トップフラット部に対応する領域の幅は、前記第一パルスレーザ光に含まれる前記第二微結晶化領域の幅以下であることを特徴とする請求項 8 に記載のレーザ照射方法。

【請求項 10】 前記トップフラット部の幅以下のピッチで前記第一パルスレーザ光および前記第二パルスレーザ光を走査することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載のレーザ照射方法。

【請求項 11】 前記第一パルスレーザ光と前記第二パルスレーザ光の照射間隔が、前記第一パルスレーザ光の発振間隔の $1/2$ 以下であることを特徴とする請求項 7 乃至 10 いずれかに記載のレーザ照射方法。

【請求項 12】 パルスレーザ光を放射するレーザ光源と、該パルスレーザ光を線状または矩形状に整形するとともに照射領域のエネルギー密度プロファイルを調整する光学系と、該パルスレーザ光を幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行う走査手段とを備えたレーザ照射装置であって、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該光学系により該照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域と、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域とを含み、該第二微結晶化領域の中心位置が照射領域中心位置に対し走査方向前方側にあるように調整されることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 13】 前記照射領域は、第二微結晶化領域に隣接して走査方向前方および後方に第一微結晶化領域を有し、さらにこれらの走査方向前方および後方に、該第一微結晶化領域に隣接して多結晶化領域を有することを特徴とする請求項 12 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 14】 前記第二微結晶化領域と前記第一微結晶化領域との境界のうち、走査方向前方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値が、走査方向後方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値よりも大きいことを特徴とする請求項 13 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 15】 前記パルスレーザ光の走査ピッチが、前記第二微結晶化領域の幅以下であることを特徴とする請求項 12 乃至 14 いずれかに記載のレーザ照射装置。

【請求項 16】 前記第二微結晶化領域に対して走査方向後方に位置する前記第一微結晶化領域または前記多結晶化領域が、定エネルギー部を含む形状のエネルギー密度プロファイルを有することを特徴とする請求項 12 または 13 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 17】 前記パルスレーザ光の走査ピッチが、前記定エネルギー部の幅以下であることを特徴とする請

求項 16 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 18】 第一パルスレーザ光を放射する第一のレーザ光源と、第二パルスレーザ光を放射する第二のレーザ光源と、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光を線状または矩形状に整形するとともにこれらの照射領域のエネルギー密度プロファイルを調整する光学系と、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光をこの順で同一地点に照射する制御手段と、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光を幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行う走査手段とを備えたレーザ照射装置であって、該光学系により、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該第一パルスレーザ光の照射領域は、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域を少なくとも含み、該第二パルスレーザ光の照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域とからなるように調整されることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 19】 前記第二パルスレーザ光の照射領域は、前記幅方向に沿って、トップフラット部を含む形状のエネルギー密度プロファイルを有することを特徴とする請求項 18 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 20】 前記トップフラット部に対応する領域の幅は、前記第一パルスレーザ光に含まれる前記第二微結晶化領域の幅以下であることを特徴とする請求項 19 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 21】 前記第一パルスレーザ光および前記第二パルスレーザ光の走査ピッチが、前記トップフラット部の幅以下であることを特徴とする請求項 19 または 20 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 22】 前記第一パルスレーザ光と前記第二パルスレーザ光の照射間隔が、該第一パルスレーザ光の発振間隔の $1/2$ 以下であることを特徴とする請求項 18 乃至 21 いずれかに記載のレーザ照射装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は非単結晶半導体薄膜にパルスレーザ光を照射してアニールを行うレーザ照射方法およびレーザ照射装置に関し、特に液晶ディスプレイや密着型イメージセンサ等に用いられる多結晶シリコン薄膜トランジスタの活性層を形成するレーザ照射方法およびレーザ照射装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、液晶表示装置や密着型イメージセンサ等への応用を目的とした、ガラス基板上に形成される、多結晶シリコン薄膜を活性層とする薄膜トランジスタの開発が盛んに進められている。多結晶シリコン薄膜の作製方法としては、プロセス温度低温化、スループッ

ト向上などの観点から、前駆体として一旦成膜したシリコン薄膜に、紫外パルスレーザ光を照射することにより熔融を経た結晶化を引き起こして多結晶組織を形成する、レーザアニール法が主流となりつつある。レーザ照射法としては、スループットの観点から、線状パルスレーザ光を、その幅方向（線方向と直角の方向）に走査しながら照射する方法が広く用いられている。

【0003】 しかしながら、従来のレーザ照射法には、形成された多結晶シリコン薄膜の結晶組織において、均一性が低いという問題点があった。例えば、信学技報 S DM92-112 巻（1992 年）、53 頁に納田らにより開示されているように、先に照射されたパルスレーザ光のビーム端の影響により、次の照射により形成される結晶粒径が大きく変化する。これは、レーザ照射による薄膜の熔融状態が、照射前の薄膜組織に依存するためである。特に、前駆体として非晶質シリコン薄膜を用いた場合の、既照射領域（結晶領域）と未照射領域（非晶質領域）との界面で、顕著な熔融状態の変化が発生する。

【0004】 図 8 に一般的なトップフラット型のエネルギー密度プロファイルを有するレーザ光を用いてレーザアニール法により形成した多結晶シリコン組織の結晶粒径分布を示す。非晶質シリコン薄膜に図 8 (a) に示すプロファイルを有するパルスレーザ光を照射したときに、形成される多結晶領域の結晶粒径分布を図 8 (b) に示す。次にビームをピッチ x でスキャンしてパルスレーザ光を照射すると、結晶粒径分布は図 8 (c) に示すように変化する。ここで、図 8 (b) におけるビーム端近傍の領域で粒径の極小値が見られる。最終的には、照射開始箇所と照射終了箇所を除き、図 8 (d) に示す結晶粒径分布を有する多結晶シリコン薄膜が形成される。すなわちビーム端による組織変化に起因する結晶粒径の不均一が発生する。

【0005】 多結晶シリコン薄膜の組織均質性を向上するため、例えば、特開平 9-219380 号公報に開示しているように、階段状のプロファイルを有するパルスレーザ光を照射する方法が考案されている。しかし、階段状のプロファイルを用いても、ビーム端による組織変化は必ず発生し、結晶粒径の不均一化を避けることは困難である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、前述の問題を鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、先に照射されたパルスレーザ光のビーム端の影響を排除し、結晶粒径の均一な多結晶半導体薄膜を得るための、レーザ照射方法およびレーザ照射装置を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明によれば、線状または矩形状の照射領域を有

するパルスレーザ光を、幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行うレーザ照射方法であって、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域と、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域とを含み、該第二微結晶化領域の中心位置が照射領域中心位置に対し走査方向前方側にあることを特徴とするレーザ照射方法が提供される。

【0008】また本発明によれば、パルスレーザ光を放射するレーザ光源と、該パルスレーザ光を線状または矩形状に整形するとともに照射領域のエネルギー密度プロファイルを調整する光学系と、該パルスレーザ光を幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行う走査手段とを備えたレーザ照射装置であって、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該光学系により該照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域と、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域とを含み、該第二微結晶化領域の中心位置が照射領域中心位置に対し走査方向前方側にあるように調整されることを特徴とするレーザ照射装置、が提供される。

【0009】本発明における多結晶化領域、第一微結晶化領域、および第二微結晶化領域の意義について、以下、説明する。

【0010】非晶質シリコン薄膜に照射するパルスレーザ光が、ある特定のエネルギー密度を越えると、形成される多結晶シリコン薄膜の粒径が20nm以下と極めて微細になることが知られている（膜厚によっては、レーザ照射による熔融後に結晶化することなく非晶質化する）。このときのエネルギー密度を非晶質の微結晶化しきい値といい、 E_a と表す。

【0011】また、本発明者らの検討によれば、非晶質シリコン薄膜の微結晶化しきい値よりエネルギー密度で約14%大きいエネルギー密度を越えると、非晶質シリコン薄膜のみならず多結晶シリコン薄膜をも微結晶化することが明らかになった。このエネルギー密度を多結晶の微結晶化しきい値といい、 E_p と表す。

【0012】本発明において、多結晶化領域とは、エネルギー密度が E_a 未満の領域であって非単結晶半導体薄膜を多結晶半導体薄膜に変換するエネルギー密度を有する領域をいう。ここで、非単結晶半導体薄膜の「非単結晶」とは、非晶質、多結晶、およびレーザアニールにより形成された微結晶を含む。本発明において第一微結晶化領域とは、エネルギー密度が E_a 以上 E_p 未満であって、非晶質を微結晶化するエネルギー密度を有する領域

をいう。この領域においては、多結晶は微結晶化されない。また、本発明において第二微結晶化領域とは、エネルギー密度が E_p 以上であって、非晶質および多結晶を微結晶化するエネルギー密度を有する領域をいう。

【0013】上述した微結晶化は、薄膜の熔融状態の変化により、再結晶化時の核発生機構が、基板薄膜界面を核発生サイトとした不均一核発生から、均一核発生へと変化することにより発生すると考えられている。この核発生機構の変化は、薄膜の到達温度と冷却速度に依存する。従って微結晶化しきい値は、薄膜の膜厚、薄膜の構造、パルスレーザ光の波長、パルス幅、などに依存して変化する。

【0014】本発明では、先に照射されたパルスレーザ光のビーム端により形成された既照射部と未照射部との界面を次に照射されるパルスレーザ光の第二微結晶化領域で覆い、この部分を多結晶薄膜の微結晶化しきい値以上のエネルギー密度で照射することにより均質化を図るものである。すなわち、既照射部と未照射部との界面を含む部分を、レーザ照射履歴の如何に関わらずに均質化することが可能となる。これにより、パルスレーザ光を用いたレーザアニール法の最大の欠点であった、ビーム端の影響を排除することが可能となる。その後、一旦微結晶化した領域に、エネルギー密度変化の小さなビームプロファイル後半部を照射することにより、均質な多結晶半導体薄膜を得ることが可能となる。

【0015】本発明において照射領域を、第二微結晶化領域に隣接して走査方向前方および後方に第一微結晶化領域を有し、さらにこれらの走査方向前方および後方に、該第一微結晶化領域に隣接して多結晶化領域を有することとすることができる。たとえば図1(a)のプロファイルに対応する照射領域は、この一例である。

【0016】このとき、前記第二微結晶化領域と前記第一微結晶化領域との境界のうち、走査方向前方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値が、走査方向後方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値よりも大きいことが好ましい。このようにすることによって、さらに均一な粒径分布の多結晶組織が得られる。ここで、「エネルギー密度勾配」とはエネルギー密度プロファイルにおける傾斜部の勾配をいう。たとえば図1(a)のプロファイルでは E_p なるエネルギー密度を有する点が第二微結晶化領域の両端に存在するが、これらの点におけるエネルギー密度の勾配が「エネルギー密度勾配」である。また、パルスレーザ光を走査するピッチは、好ましくは第二微結晶化領域の幅以下、さらに好ましくは第二微結晶化領域の幅の1/2以下とする。このようにすることによって、先のレーザ照射によってビーム前方に生じた多結晶化部分を、次のレーザ照射によって微結晶化することができる（図1(c)右側点線部分）。

【0017】また、前記第二微結晶化領域に対して走査

方向後方に位置する、前記第一微結晶化領域または前記多結晶化領域のエネルギー密度プロファイルを、定エネルギー部を含む形状とすることもできる。たとえば図3(a)のような形状である。この場合、定エネルギー部を第一微結晶化領域中に有することが好ましい。定エネルギー部のエネルギー密度を極力大きくとることにより、より粒径を大きくすることができるからである。なお定エネルギー部のエネルギー密度の設定は、目標とする粒径に応じて適宜設定される。また上記のエネルギー密度プロファイルをとる場合、走査ピッチは、好ましくは定エネルギー部の幅以下、さらに好ましくは定エネルギー部の幅の1/2以下とする。このようにすることによって、より粒径の均一な多結晶組織が形成される。

【0018】また本発明によれば、異なる光源から発振された線状または矩形状の照射領域を有する第一パルスレーザ光および第二パルスレーザ光を用い、これらをこの順で同一地点に照射するダブルパルス法により、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光を幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行うレーザ照射方法であって、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該第一パルスレーザ光の照射領域は、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域を少なくとも含み、該第二パルスレーザ光の照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域とからなることを特徴とするレーザ照射方法、が提供される。

【0019】また本発明によれば、第一パルスレーザ光を放射する第一のレーザ光源と、第二パルスレーザ光を放射する第二のレーザ光源と、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光を線状または矩形状に整形するとともにこれらの照射領域のエネルギー密度プロファイルを調整する光学系と、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光をこの順で同一地点に照射する制御手段と、該第一パルスレーザ光および該第二パルスレーザ光を幅方向に沿って照射領域が部分的に重なるように走査し、非単結晶半導体薄膜に対しレーザ照射を行う走査手段とを備えたレーザ照射装置であって、該光学系により、非晶質の微結晶化しきい値を E_a 、多結晶の微結晶化しきい値を E_p としたときに、該第一パルスレーザ光の照射領域は、 E_p 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域を少なくとも含み、該第二パルスレーザ光の照射領域は、 E_a 未満のエネルギー密度を有する多結晶化領域と、 E_a 以上 E_p 未満のエネルギー密度を有する第一微結晶化領域とからなるように調整されることを特徴とするレーザ照射装置、が提供される。

【0020】上記発明における多結晶化領域、第一微結晶化領域、および第二微結晶化領域の意義は前述した内容と同様である。上記発明において、第二パルスレーザ

光の照射領域は、該非単結晶半導体薄膜を多結晶半導体薄膜に変換するエネルギー密度を有する多結晶化領域と、該非単結晶半導体薄膜を微結晶化するエネルギー密度を有する第一微結晶化領域とからなる。すなわちエネルギー密度の最大値は E_p 未満である。一方、第一パルスレーザ光の照射領域は、該非単結晶半導体薄膜および該多結晶半導体薄膜を微結晶化するエネルギー密度を有する第二微結晶化領域を少なくとも有する。すなわちエネルギー密度の最大値は E_p 以上である。

10 【0021】本発明によれば、既照射部と未照射部との界面を含む部分をレーザ照射履歴の如何に関わらずに均質化することが可能となる。これにより、ビーム端の影響を排除することが可能となる。その後、一旦微結晶化した領域に、エネルギー密度変化の小さな第二パルスレーザ光を照射することにより、均質な多結晶半導体薄膜を得ることが可能となる。

【0022】本発明において、前記第二パルスレーザ光の照射領域は、たとえば、前記幅方向に沿って、トップフラット部を含む形状のエネルギー密度プロファイルを有する形態とすることができる。このトップフラット部のエネルギー密度は、第一微結晶化領域または多結晶化領域にあるものとする。エネルギー密度を極力大きくとることで、より大きな粒径が得られることから、トップフラット部を第一微結晶化領域中に有することが好ましい。図5(a)右側のグラフは、このようなプロファイルの一例である。なおトップフラット部のエネルギー密度の設定は、目標とする粒径に応じて適宜設定される。

【0023】上記の場合、前記トップフラット部に対応する領域の幅は、前記第一パルスレーザ光に含まれる前記第二微結晶化領域の幅以下であることが好ましい。また前記トップフラット部の幅以下のピッチで前記第一パルスレーザ光および前記第二パルスレーザ光を走査することが好ましい。このようにすることによって、より粒径の均一な多結晶薄膜を得ることができる。さらに、前記第一パルスレーザ光と前記第二パルスレーザ光の照射間隔が、該第一パルスレーザ光の発振間隔の1/2以下であることが好ましい。第二パルスレーザ光照射によるシリコン薄膜の熔融・凝固が終了した後に、次サイクルの第一パルスレーザ光を照射する必要があるためである。

40 【0024】

【実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0025】【第1の実施の形態】図1を用いて、本発明の第1の実施の形態を説明する。図1(a)は線状パルスレーザ光の幅方向(線方向と直角の方向)のエネルギー密度プロファイルを示す。レーザ走査方向は図中左から右へとする。プロファイルでの最大エネルギー密度は多結晶シリコン薄膜の微結晶化しきい値 E_p を越える。なお、 E_a は非晶質シリコン薄膜の微結晶化しきい

値である。

【0026】図に示されたプロファイルを有する照射領域は、中央部にエネルギー密度が E_0 以上の第二微結晶化領域を有し、これに隣接して左右に（走査方向前方および後方に）エネルギー密度が E_0 以上 E_0 未満の第一微結晶化領域を有する。さらにこれらの走査方向前方および後方に、第一微結晶化領域に隣接して、エネルギー密度が E_0 未満であって非単結晶半導体薄膜を多結晶半導体薄膜に変換する多結晶化領域を有する。最大エネルギー密度位置はビーム中心よりも右側、すなわち走査方向前方側に位置しており、また E_0 以上のエネルギー密度を有する第二微結晶化領域の中心位置が、照射領域中心位置に対し走査方向前方側にある。 E_0 におけるエネルギー勾配を絶対値で比較すると、右側の勾配が左側の勾配よりも大きい。すなわち、第二微結晶化領域と第一微結晶化領域との境界のうち、走査方向前方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値が、走査方向後方に位置する境界におけるエネルギー密度勾配の絶対値よりも大きくなっている。

【0027】このような非対称ビームプロファイルを得る方法について以下、説明する。図10は非対称ビームプロファイルを実現するレーザ照射装置の概略構造を示す。図2はその特徴的な部分である、照射領域のエネルギー密度プロファイルを調整する光学系の一部を示す。

【0028】図2(a)は、通常の左右対称形パルスレーザ光を斜入射する方法を示す。最終段レンズの焦点以前に基板に照射する場合は、図の如く左側より照射し、最終段レンズの焦点以後の場合は、右側から照射すると、最大エネルギー密度部がビーム中心より右側（走査方向前方）に位置し、第二微結晶化領域の中心位置が照射領域中心位置に対し走査方向前方側にあるプロファイルが得られる。

【0029】図2(b)は最終段レンズに、左右で屈折率が異なる非対称レンズ203を用いる方法を示す。曲率、または媒質が左右で異なるレンズを用いることにより、パルスレーザ光の集光度を左右で変化させることが可能である。

【0030】図2(c)は、パルスレーザ光の右端のみに遮光マスク204を用いる方法を示す。マスクを用いることにより、右端（走査方向前方）のみを急峻化したプロファイルが得られる。マスクの材料としては通常、クロム、アルミニウム、ステンレス合金などの、金属材料が用いられる。

【0031】図2(d)は、誘電体マスク、ホログラム素子などの、任意のレーザ光プロファイルを得ることが可能な光学素子205を用いる方法を示す。誘電体マスクは石英基板上の誘電体薄膜の積層構造を変化することにより、レーザ光の反射率を任意に変化することが可能であり、任意のプロファイルが得られる。ホログラム素子はホログラム効果を利用して、レーザ光を任意に分割

して照射することが可能である。

【0032】図1(a)に示したプロファイルを有するパルスレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射するときの組織変化を図1(b)～図1(d)を用いて説明する。パルスレーザ光を1回照射したとき、図1(b)に示す粒径分布を有する結晶領域が形成される。エネルギー密度の増大に伴い、粒径は拡大するが、エネルギー密度が E_0 以上の領域で微結晶化が起こる。ビーム端の傾きに伴い、ビーム左端（走査方向後方）よりもビーム右端（走査方向前方）の方が大きな粒径変動を示す。

【0033】次に距離 X だけビームを移動して照射すると、図1(c)に示す組織が得られる。図1(b)のビーム右端で形成された大粒径部は、ここで E_0 以上のエネルギー密度で照射されることにより、微結晶化が起こり、粒径が均質化される。ここで X が、プロファイル中 E_0 以上となる領域（第二微結晶化領域）の幅より大きい場合、ビーム右端で形成された大粒径部が残存してしまい、充分な均質化が果たせなくなることがある。一方、 E_0 未満で比較的緩やかなエネルギー密度勾配を有するプロファイル左側で照射された領域では、緩やかな粒径変動を示す大粒径組織が得られる。即ち、先のレーザ照射により形成されたビーム端部は、次のレーザ照射により、均質化される。その結果、図1(d)に示すように、プロファイル後半部のみに依存した、比較的均質な粒径変動を示す多結晶組織が形成される。

【0034】〔第2の実施の形態〕図3を用いて、本発明の第2の実施の形態を説明する。図3(a)は線状パルスレーザ光の幅方向のビームプロファイルを示す。レーザ走査方向は図中左から右へとする。プロファイルは走査方向に沿って順に、 E_0 以上となる前半部と、 E_0 未満で定エネルギー密度を有する後半部と、からなる。

【0035】このようなビームプロファイルは、例えば、図4に示した方法等で得ることができる。図4

(a)は、ビームスプリッタ401でパルスレーザ光を2分割し、分割されたパルスレーザ光を各々光学系402、403で整形して照射する方法を示す。ビーム前半部は E_0 以上となる第二微結晶化領域が得られれば、特に形状は問わないが、ビーム後半部は誤差5%以内の定エネルギー部（一定のエネルギー密度を有する領域）を光学系403により形成する必要がある。

【0036】図4(b)は最終段レンズに、アッテネータ406を用いる方法を示す。通常のトップフラット型プロファイルを形成した後、ビーム左側のみアッテネータ406を通過させ、エネルギー密度変化を作製する。アッテネータ406としては、通常のコーティングした石英板を用いる。図4(c)は、誘電体マスク、ホログラム素子などの、任意のパルスレーザ光プロファイルを得ることが可能な光学素子407を用いる方法を示す。

【0037】図3(a)に示したプロファイルを有するパルスレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射するときの

組織変化を図 3 (b) から図 3 (d) を用いて説明する。パルスレーザ光を 1 回照射したとき、図 3 (b) に示す粒径分布を有する結晶領域が形成される。エネルギー密度の増大に伴い、粒径は拡大するが、エネルギー密度が E_p 以上の領域で微結晶化が起こる。ここで、定エネルギー密度領域は、 E_p 以上、 E_p 未満となっている。

【0038】次に距離 X だけビームを移動して照射すると、図 3 (c) に示す組織が得られる。図 3 (b) のビーム右端で形成された粒径変動の大きな領域は、ここで E_p 以上のエネルギー密度で照射されることにより、微結晶化が起こり、粒径が均質化される。ここで X が、プロファイル中 E_p 以上となる領域（第二微結晶化領域）の幅より大きい場合、ビーム右端で形成された大粒径部が残存してしまい、十分な均質化が果たせなくなることがある。一方、 E_p 未満で定エネルギー密度領域を有するプロファイル後半部で照射された領域では、大粒径均質組織が得られる。即ち、先のレーザ照射により形成されたビーム端部は、次のレーザ照射により、均質化される。その結果、図 3 (d) に示すように、プロファイル後半部のみに依存した均質な多結晶組織が形成される。

【0039】〔第 3 の実施の形態〕図 5 を用いて、本発明の第 3 の実施の形態を説明する。図 5 (a) は異なる光源から発振された 2 種類のパルスレーザ光を同一地点に順次照射するダブルパルス法を用いるときの、第一パルスレーザ光と第二パルスレーザ光の幅方向（幅方向）のプロファイルを示す。レーザ走査方向は図中左から右へとする。第一パルスレーザ光は E_p 以上となる第二微結晶化領域が得られれば、特にプロファイル形状は問わない。第二パルスレーザ光は誤差 5 % 以内のトップフラット部を有する形状のプロファイルとすることが好ましい。

【0040】図 5 (a) に示したプロファイルを有するパルスレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射するときの組織変化を図 5 (b) から図 5 (d) を用いて説明する。ダブルパルスレーザ光を 1 サイクル照射したとき、図 3 (b) に示す粒径分布を有する結晶領域が形成される。第一パルスレーザ光が照射されると、エネルギー密度の増大に伴い、粒径は拡大するが、エネルギー密度が E_p 以上の領域で微結晶化が起こる。引き続いて第二パルスレーザ光が照射されると、プロファイルに応じた大粒径均質部が形成される。ここで、第二パルスレーザ光のトップフラット部の幅が、第一パルスレーザ光の E_p 以上の領域（第二微結晶化領域）の幅より大きくする必要はない。第二パルスレーザ光照射によるシリコン薄膜の熔融・凝固が終了した後に、次サイクルの第一パルスレーザ光を照射する必要があるため、1 サイクル内での第一パルスレーザ光と第二パルスレーザ光の照射間隔は、第一パルス光の発振間隔の $1/2$ 以下であることが望ましい。

【0041】次に距離 X だけビームを移動して 1 サイ

ル照射すると、図 5 (c) に示す組織が得られる。図 5 (b) のビーム右端で形成された粒径変動の大きな領域は、ここで E_p 以上のエネルギー密度で照射されることにより、微結晶化が起こり、粒径が均質化される。ここで X が、プロファイル中 E_p 以上となる領域（第二微結晶化領域）の幅より大きい場合、ビーム右端で形成された大粒径部が残存してしまい、十分な均質化が果たせなくなることがある。第一パルスレーザ光により微結晶として均質化された領域は、引き続いて照射された第二パルスレーザ光のトップフラット部により、大粒径化する。

【0042】即ち、先のダブルパルス照射サイクルにより形成されたビーム端部は、次サイクルの第一パルスレーザ光照射により、均質化される。その結果、図 5 (d) に示すように、第二パルスレーザ光のプロファイルのみに依存した均質な多結晶組織が形成される。

【0043】図 6 にダブルパルス法を実現するレーザ照射装置を示す。第一パルスレーザ光源 601 と第二パルスレーザ光源 602 は同期制御部 603 により、制御されて発振する。各パルスレーザ光は光学系 604 を通り照射されるが、ここで同一の光路を通過しても良い。

【0044】

【実施例】〔第 1 の実施例〕次に本発明の第 1 の実施の形態に基づく第 1 の実施例について説明する。ガラス基板としては日本電気硝子社製 OA-2 基板を用いた。次に、プラズマ CVD 法で SiH_4 と N_2O により、下地絶縁膜としての二酸化シリコン薄膜を 100 nm 堆積した。

【0045】次に、減圧 CVD 法で Si_2H_6 より、非晶質シリコン薄膜を 75 nm 堆積した。堆積条件としては、 Si_2H_6 流速 150 sccm、圧力 8 Pa、基板温度 450℃ の条件で 70 分間堆積を行った。

【0046】プロファイル決定の予備実験として、非晶質シリコン薄膜に波長 308 nm、パルス幅 50 nm のパルスレーザ光を照射するときの E_p を調べた。図 7 はともに膜厚が 75 nm のときの、非晶質シリコン膜と平均粒径 18 nm の多結晶シリコン薄膜にパルスレーザ光を 1 パルス照射したときに得られる、多結晶組織の平均粒径のエネルギー密度依存性を示す。非晶質シリコン薄膜の場合、平均粒径は図中黒丸で示された変化を示し、 E_p は 460 mJ/cm² であった。次に非晶質シリコン薄膜を 340 mJ/cm² で照射して得られた、平均粒径 18 nm の多結晶シリコン薄膜の場合、平均粒径は図中白四角で示された変化を示し、 E_p は 520 mJ/cm² で有ることが明らかとなった。

【0047】以上の結果から、ビームプロファイルとしては、最大エネルギー密度 550 mJ/cm²、 E_p 以上の領域幅 0.1 mm、ビーム前半部の E_p 地点でのエネルギー密度勾配 520 J/cm³、ビーム後半部の E_p 地点でのエネルギー密度勾配 10 J/cm³ とした。以上

のプロファイルを有するパルスレーザ光をピッチ $5\mu\text{m}$ で照射したとき、粒径分布が約 $830\sim 1120\text{nm}$ で図1(d)の如く変化する、大粒径均質組織が得られた。

【0048】一方、通常のトップフラット型ビームを用いた場合、フラット部のエネルギー密度 $420\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、トップフラット幅 0.3mm 、ビーム端幅 $10\mu\text{m}$ 、送りピッチ $15\mu\text{m}$ の条件では、粒径分布が約 $30\sim 200\text{nm}$ で、図8(d)の如く変化する、不均質な組織が得られた。また、フラット部のエネルギーを E_0 以上の $530\text{mJ}/\text{cm}^2$ としたとき、図9に示すような組織が形成され、粒径分布が約 $20\sim 1260\text{nm}$ の極めて不均質な組織が形成された。

【0049】〔第2の実施例〕次に本発明の第2の実施の形態に基づく第2の実施例について説明する。ガラス基板としては日本電気硝子社製OA-2基板を用いた。次に、プラズマCVD法で SiH_4 と N_2O により、下地絶縁膜としての二酸化シリコン薄膜を 100nm 堆積した。

【0050】次に、減圧CVD法で Si_2H_6 より、非晶質シリコン薄膜を 50nm 堆積した。堆積条件としては、 Si_2H_6 流速 150sccm 、圧力 8Pa 、基板温度 450°C の条件で46分間堆積を行った。膜厚が 50nm の場合、波長 308nm 、パルス幅 50nm のパルスレーザ光では E_a および E_b はそれぞれ、 420 および $470\text{mJ}/\text{cm}^2$ であった。パルスレーザ光のビームプロファイルとしては、最大エネルギー密度 $485\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 E_b 以上の領域幅 0.07mm 、フラット部のエネルギー密度 $450\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、フラット部の幅 0.1mm とし、送りピッチ $10\mu\text{m}$ で照射した。このとき、粒径分布が約 $480\sim 630\text{nm}$ で、図3(d)の如く変化する均質大粒径組織が得られた。

【0051】〔第3の実施例〕次に本発明の第3の実施の形態に基づく第3の実施例について説明する。ガラス基板としてはコーニング社製1737基板を用いた。次に、プラズマCVD法で SiH_4 と N_2O により、下地絶縁膜としての二酸化シリコン薄膜を 100nm 堆積した。

【0052】次に、プラズマCVD法で SiH_4 と H_2 により、非晶質シリコン薄膜を 75nm 堆積した。堆積条件としては、 SiH_4 流速 150sccm 、 H_2 流速 400sccm 、圧力 100Pa 、放電電力 $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 、基板温度 320°C の条件で8分間堆積を行った。堆積後、熱処理温度 400°C で熱処理時間2時間の脱水素アニールを施した。この非晶質シリコン薄膜の、波長 248nm 、パルス幅 35nm のパルスレーザ光を用いたときの、 E_a および E_b はそれぞれ、 480 および $550\text{mJ}/\text{cm}^2$ であった。

【0053】第一パルスレーザ光として、最大エネルギー密度 $570\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 E_b 以上の領域幅 0.3mm

のプロファイルを有するパルスレーザ光を、 300Hz で発振する。第二パルスレーザ光として、トップフラット型のプロファイルを有し、フラット部のエネルギー密度 $480\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、フラット部の幅 0.2mm 、ビーム端幅 $10\mu\text{m}$ のパルスレーザ光を、 300Hz で発振する。第一パルスレーザ光と第二パルスレーザ光の発振間隔は 200ns であり、送りピッチは $20\mu\text{m}$ とした。このとき、粒径分布が約 $450\sim 590\text{nm}$ で、図5(d)の如く変化する均質大粒径組織が得られた。

【0054】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、非単結晶半導体薄膜にパルスレーザ光をスキャン照射して多結晶半導体薄膜を形成する際に、結晶組織に不均質性を生むビーム端の影響が排除され、均質な大粒径組織を有する薄膜を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明の第1の実施の形態によるパルスレーザ光のビームプロファイル、(b)は、(a)のレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射したときに生じる粒径分布、(c)は、距離Xだけ(a)のレーザ光を移動して(b)に照射したときに生じる粒径分布、(d)は、距離Xで(a)のレーザ光を走査しながら連続的に照射したときに生じる粒径分布を示す図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態によるパルスレーザ光のビームプロファイルの作製方法を説明するための図である。

【図3】(a)は本発明の第2の実施の形態によるパルスレーザ光のビームプロファイル、(b)は、(a)のレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射したときに生じる粒径分布、(c)は、距離Xだけ(a)のレーザ光を移動して(b)に照射したときに生じる粒径分布、(d)は、距離Xで(a)のレーザ光を走査しながら連続的に照射したときに生じる粒径分布を示す図である。

【図4】本発明の第2の実施の形態によるパルスレーザ光のビームプロファイルの作製方法を説明するための図である。

【図5】(a)は本発明の第3の実施の形態によるパルスレーザ光のビームプロファイル、(b)は、(a)のレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射したときに生じる粒径分布、(c)は、距離Xだけ(a)のレーザ光を移動して(b)に照射したときに生じる粒径分布、(d)は、距離Xで(a)のレーザ光を走査しながら連続的に照射したときに生じる粒径分布を示す図である。

【図6】本発明の第3の実施の形態によるレーザ照射装置。

【図7】非晶質シリコン薄膜および多結晶シリコン薄膜にレーザ照射したときのエネルギー密度と形成される結晶粒径の関係。

【図8】(a)は従来例によるパルスレーザ光のビーム

プロファイル、(b)は、(a)のレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射したときに生じる粒径分布、(c)は、距離Xだけ(a)のレーザ光を移動して(b)に照射したときに生じる粒径分布、(d)は、距離Xで(a)のレーザ光を走査しながら連続的に照射したときに生じる粒径分布を示す図である。

【図9】(a)は従来例によるパルスレーザ光のビームプロファイル(最大エネルギー密度が多結晶シリコン膜の微結晶化しきい値を越える場合)、(b)は、(a)のレーザ光を非晶質シリコン薄膜に照射したときに生じる粒径分布、(c)は、距離Xだけ(a)のレーザ光を移動して(b)に照射したときに生じる粒径分布、

(d)は、距離Xで(a)のレーザ光を走査しながら連続的に照射したときに生じる粒径分布を示す図である。

【図10】本発明の第1の実施の形態によるレーザ照射装置。

【符号の説明】

201 光学系

202 基板

203 非対称レンズ

204 マスク

205 誘電体マスクあるいはホログラム素子

401 ビームスプリッタ

402 ビーム前半部光学系

403 ビーム後半部光学系

404 基板

405 光学系

406 アッテネータ

10 407 誘電体マスク、あるいはホログラフィック素子

601 第一パルスレーザ光源

602 第二パルスレーザ光源

603 光源同期制御部

604 光学系

605 チャンバ

606 基板

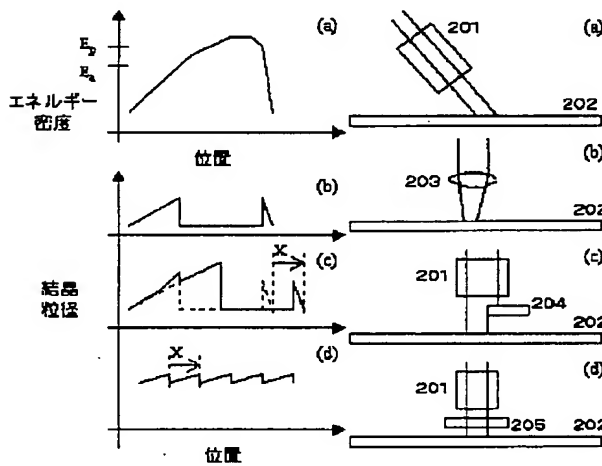
607 パルスレーザ光源

608 ステージ

609 移動機構

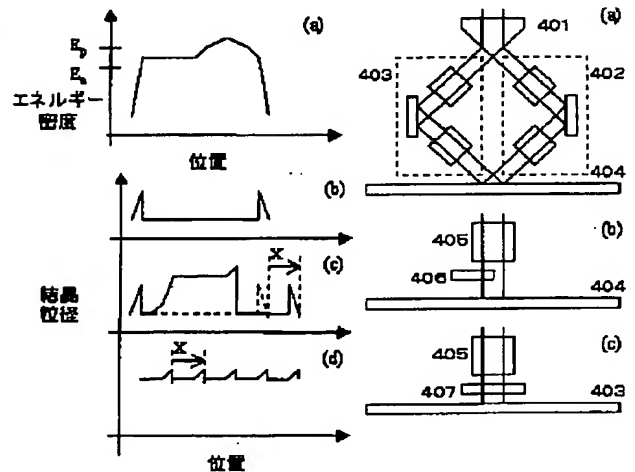
【図1】

【図2】

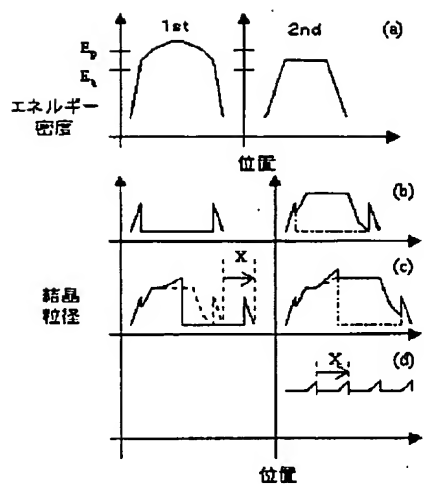


【図3】

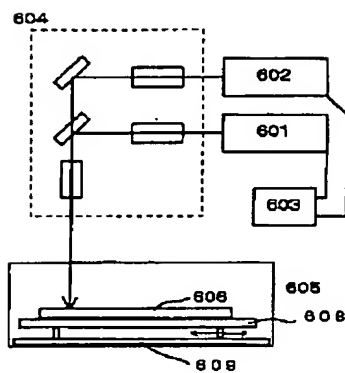
【図4】



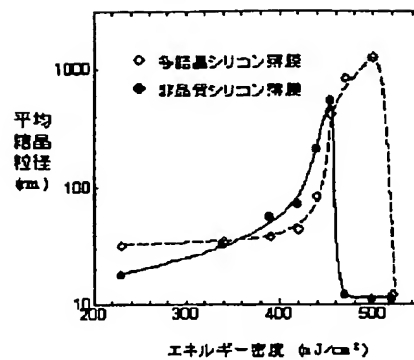
【図5】



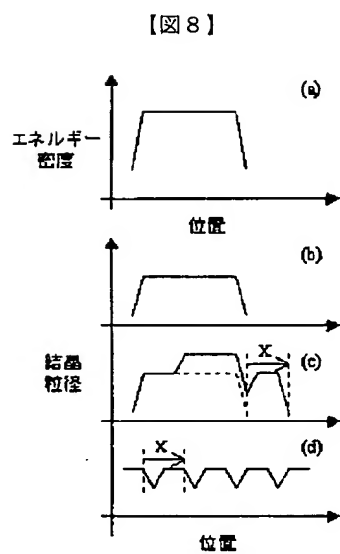
【図6】



【図7】



【図10】



【図9】

